

杨小¹ 郑琳² 郭隐彪²

1. 集美大学 机械工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门大学 机电工程系, 福建 厦门 361005

摘要: 文章分析了加工过程中产生的振动现象以及砂轮振动对工件表面精度的影响, 设计了超精密磨削加工砂轮微振动的模拟系统。该系统可模拟实际磨削过程中砂轮径向、横向和微小振动和摆动, 为研究不同的磨削加工参数下砂轮的振动及其对工件表面精度的影响奠定的实验基础。

关键词: 磨削; 砂轮振动; 加工精度; 模拟系统

中图分类号: TC580.61⁺2 文献标识码: A 文章编号: 1001-2265(2004)06-0001-02

Study of analog system based on small vibration in ultra precision grinding machining

YONG Xiaofan ZHENG Lin GUO Yinbiao

Abstract: This paper analysec the occurred vibration and the influence caused by vibration of wheel, and then an analog system based on small vibration in ultra precision grinding machining is presented. This system can simulate radial vibration, transverse vibration and oscillation of wheel on machining process. This paper aims at establishing an analog system, which is helpful to study the influence parameters of variation of wheel on the workpiece surface when adapting different machining parameters.

Key words: grinding; wheel vibration; machining accuracy; analog system

1 引言

超精密磨削加工是一个多种因素综合作用的过程, 在加工过程中容易产生振动, 实际的工艺系统是一个非常复杂的振动系统。系统中的振动使工件与砂轮之间的相对位置发生了微幅变动, 从而使工件表面粗糙度增大, 表面质量降低, 同时加剧了砂轮的磨损, 降低生产率。

振动直接影响工件的加工精度。很久以来, 人们试图通过抑制、削弱振动提高被加工表面的表面质量。例如增加机床刚度、寻找振源、采取隔振措施、采用吸振器或者外加一套反馈闭环控制装置等, 起到了一定的减少振动的作用。但这些方法需要对机床本身进行改造或增加附加机构, 造价昂贵, 方法比较复杂。有的方法如果调整不当, 很难达到预期控制的效果, 甚至会适得其反。无论怎样, 在加工过程中振动依然存在, 特别对于超精密加工, 即使很小的振动也会影响被加工表面的质量。而通过优化加工参数提高表面质量则是一个更加有效的方法^[1]。

本文进行了超精密磨削加工微振动模拟系统研究, 为分析砂轮振动、加工参数及表面质量之间的关系奠定了实验基础。

2 砂轮振动对表面精度的影响

在超精密磨削加工中砂轮振动是影响工件表面质量的关键因素之一。其原因主要是砂轮未能充分平衡由主轴周期性旋转而引起的砂轮振动和摆动。虽然精密磨床刚度大, 抗振性能高, 但砂轮的振动是无法消除的。砂轮不平衡量会引起主轴系统振动, 影响磨削效率, 磨削质量, 砂轮和轴承寿命, 可使主轴平动, 摆动, 使加工表面产生波纹度, 还将影响表面粗糙度。如图 1 所示, 为砂轮振动引起表面轮廓的原理简图。

假设由砂轮不平衡量引起的砂轮振动振幅为 A , 工件振动振幅为 A_r , 砂轮的振动频率为 f_d (大小等于砂轮的转动频率), 砂轮以一定速度从工件边上向中心加工, 工件主轴的旋转频率为 f_w , 砂轮在进给方向的每转进给量为 Δ 。

在振动影响下的工件表面轮廓可表示为:

$$\begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (R - v_c \cdot t) \cos(2\pi f_w t) \\ (R - v_c \cdot t) \sin(2\pi f_w t) \\ A \sin(2\pi f_d t - \varphi) \end{bmatrix} \quad (1)$$

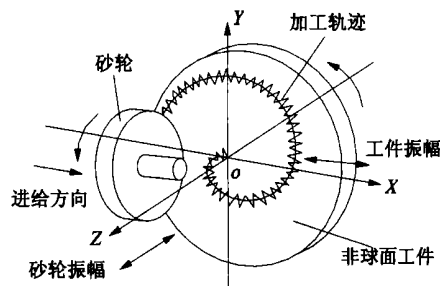


图 1 非球面磨削加工的表面轮廓形成

其中, R 为工件半径, v_c 为砂轮进给速度, φ 为相位角。当工件转动一周, 产生的振动周期数可表示为 $T = f_d/f_w = a - b$, a 为频率比的整数部分 (0 或正整数), b 为频率比的小数部分 $b = \text{int}(f_d/f_w) - f_d/f_w$ 。

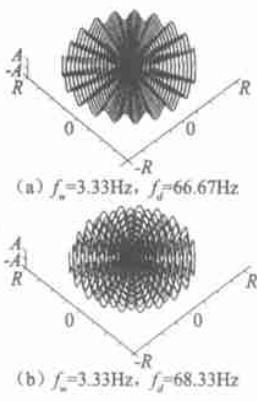
工件旋转一周, 产生的波纹相位差可定义为 $\varphi = \omega_w \cdot b \cdot T_d$, ω_w 为工件主轴旋转的角速度, $\omega_w = 2\pi f_w$, T_d 为砂轮的振动周期, $T_d = 1/f_d$ 。由方程 (1) 可绘出工件表面的立体轮廓, 图 2 为在 $v_c = 3\text{mm/min}$ 的情况下, 取不同频率的工件表面形态。可以看出: 因为砂轮振动的影响, 工件产生了规则的表面波纹度^[2]。

3 微小振动模拟试验系统设计

3.1 微振动模拟试验系统示意图

为了进一步研究砂轮的振动对工件表面质量的影响以及在不同的加工参数下砂轮的振动状况, 下文对超精密磨削加工砂轮微振动模拟系统进行设计。由于精密磨床上砂轮主轴刚度大, 不易激振, 为了便于实验, 可在数控车床刀架上装上砂轮使

* 基金项目: 国家 8638042416 资助项目



其进行径向、横向振动以及摆动,模拟精密磨床上砂轮 X 轴和 Y 轴方向的振动和垂直的 B 轴方向的摆动,同样可达到试验目的。

图 3 为在数控车床上进行的超精密磨削加工微振动模拟实验系统原理图。如图所示,微驱动刀架通过过渡安装板装夹到机床回转刀架上,由信号发生器发出正弦波,经放大电路及压电陶瓷驱动电源与微驱动刀架上激励器相连,砂轮主轴直接安装到微驱动刀架的砂轮架上。

由于在砂轮振动的各个方向上都安装了激励器,因此可以模拟砂轮各向振动,只要在砂轮架

图 2 不同频率下工件的表面轮廓

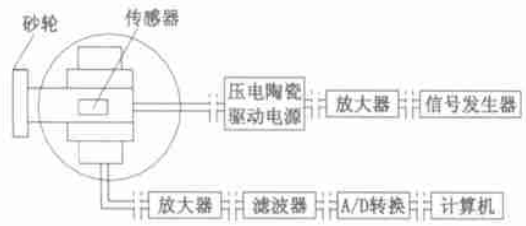


图 3 微小振动模拟试验系统原理图

上靠近砂轮合适的地方装上传感器,将拾取的信号经放大器、滤波器、A/D 转换输送给计算机,就可以对实际磨削过程中砂轮径向、横向的微小振动和摆动进行分析,为研究不同的磨削加工参数下砂轮的振动及其对工件表面精度的影响奠定了实验基础。

3.2 微驱动刀架设计

微驱动刀架是整个模拟系统的关键,它要在保证精度的前提下达到模拟实际磨削过程中砂轮径向、横向的微小振动以及摆动。基于以上考虑,设计如图 4 所示,砂轮安装在微驱动刀架上。整个微驱动刀架由砂轮架、上导轨、下导轨、过渡安装板几

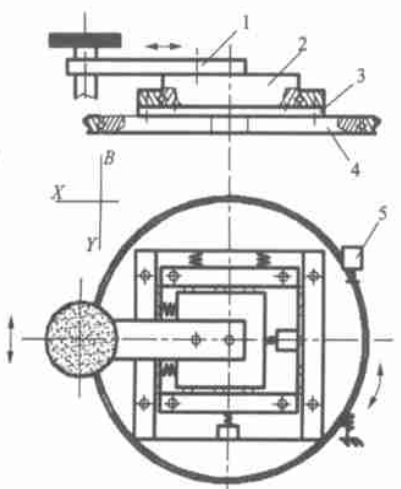


图 4 微驱动刀架结构示意图
1、砂轮架 2、上导轨 3、下导轨 4、过渡安装板 5、激励器

部分组成。砂轮主轴通过轴承安装在砂轮架上,砂轮架用螺钉与上导轨中的滚动体联接固定。滚动体一端用弹簧固定,另一端接激励器,因此当砂轮振动时可允许整个砂轮架沿上导轨表面微滑动,模拟砂轮 X 轴方向的振动。将上导轨底面与下导轨中的滚动体用螺钉紧固。这样在激振力的作用下,上、下导轨可做相对滑动,模拟砂轮 Y 轴方

向的振动。为使砂轮绕 B 轴做轻微摆动,将下导轨底面与过渡安装板连接固定,并且置于圆导轨中。在激振力的作用下,过渡安装盘可带动下导轨、上导轨及其上的砂轮架做微小的摆动。整个装置再通过压板机构压紧在过渡安装板上。滚动导轨具有摩擦系数小、定位精度高的优点,因此,当要求运动件产生精确微小的移动时,通常采用滚动导轨。微驱动刀架上所有导轨均采用滚珠导轨。综上,通过该微驱动刀架,可模拟实际加工过程中砂轮 X 轴和 Y 轴方向的振动和 B 轴方向的摆动。

3.3 实验参数

通过上述的砂轮微小振动模拟系统,可以测量出砂轮主轴不同频率、振幅的平动、摆动对工件表面质量的影响。表 1 为实验的加工参数范围。

表 1 实验加工参数

砂轮转速 r/min	工件转速 r/min	砂轮主轴刚度 $\mu\text{m}/\text{kg}$	砂轮主轴转角 $^\circ$	砂轮每转进给量 $\mu\text{m}/\text{r}$
1000	500	2	0.02	1
1200	600	3	0.04	3
1500	700	4	0.06	5
1800	800	5	0.08	7
2000	1000	6	0.10	10

4 结束语

在超精密磨削加工中,砂轮的微小振动会在工件的表面形成振动波纹和形状误差,从而恶化了加工质量,加剧砂轮的磨损。本文设计的砂轮微小振动模拟系统,可模拟实际磨削过程中砂轮径向、横向的微小振动和摆动,为研究不同的加工参数下砂轮的振动特性及其对工件表面质量的影响奠定了实验基础。通过优化加工参数,使超精密磨削能在振动尽可能小的条件下进行,间接的保证了产品的质量。

【参考文献】

[1] 张军,唐文彦,强锡富. 切削振动条件下工件表面轮廓的形成机理. 仪器仪表学报, 2000, 21(3): 225 ~ 228

[2] 张翊,郭隐彪,庄司克雄. 微小振动影响超精密非球面加工精度的研究. 金刚石与磨料磨具工程, 2003, 6: 17 ~ 20

[3] C. F. Cheung, W. B. Lee. A theoretical and experimental investigation of surface roughness formation in ultra precision diamond turning. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40: 979 ~ 1002

[4] O. B. Abouelatta, J. Madl. Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations. Journal of materials processing technology, 2001, 118: 269 ~ 277

收稿日期: 2003- 12- 13

作者简介: 杨小 (1972-), 女, 福建泉州人, 集美大学机械工程学院讲师。

(编辑 李秀敏)